

Określenie wpływu sposobu wyboru punktów na dokładność numerycznych modeli terenu

Tematyka dotycząca sposobu generowania i wykorzystania numerycznych modeli terenu jest szeroko poruszana w branżowej literaturze. Pomimo to wśród zagadnień szczegółowych pozostało wiele ciekawych problemów badawczych. W niniejszym artykule starano się przybliżyć sprawę zredukowania liczby punktów pomiarowych numerycznego modelu terenu. Skorzystano z badań wykonanych do pracy magisterskiej „Numeryczna reprezentacja powierzchni Ziemi, Studium metodyczne”, wykonanej w Zakładzie Systemów Informacji Geograficznej IGiGP UJ.

Jako teren eksperymentalny wybrano fragment Beskidów Zachodnich na południe od Myślenic (ryc. 1.). Badany obszar ma kształt czworoboku o wymiarach 10 na 12 km tj. 120 km². Współrzędne geograficzne narożników wymienionego obszaru to: górny-lewy: $\varphi = 49^{\circ}47'25''$, $\lambda = 19^{\circ}51'40''$; górny-prawy: $\varphi = 49^{\circ}47'21''$, $\lambda = 20^{\circ}00'00''$; dolny-lewy: $\varphi = 49^{\circ}42'00''$, $\lambda = 19^{\circ}51'35''$; dolny-prawy: $\varphi = 49^{\circ}41'56''$, $\lambda = 20^{\circ}00'00''$. Północna część należy do Beskidu Średniego (fragment pasma Koskowej Góry z Kotoniem i Pasma Lubomira – Łysiny), południowa do Beskidu Wyspowego (z kulminacjami Zębalowej, Klimasa oraz północno zachodnimi stokami Szczebła, (Balon i inni 1995, German 1993). Część obszaru zajmuje szeroka dolina Raby, a także doliny Krzczonówki (centralnie położona) i Potoku Tenczyńskiego. Wybór terenu eksperymentalnego poprzedzony był wnikliwą analizą map topograficznych Beskidów. Opisany fragment został wybrany ze względu na swoiste cechy ukształtowania powierzchni. Przede wszystkim zdecydowały łagodne (mało obszarów o nachyleniu powyżej 30°) kształty gór porozcinanych dość szerokimi dolinami. Ważna jest również dominacja dwóch głównych grzbietów: Kotonia i Zębalowej. O wyborze tego fragmentu Beskidów zdecydowała też dobra dostępność materiałów kartograficznych. Najwyższe punkty położone są na szczycie Zębalowej (858 m.n.p.m) w Beskidzie Wyspowym i Kotonia (857 m.n.p.m.) w Beskidzie Średnim. Najniższe położone miejsce, o rzędnej około 305 m.n.p.m., znajduje się w korycie Raby na północnym krańcu obszaru.

Źródłem informacji o wysokościach punktów pomiarowych była mapa topograficzna w skali 1:50000. Dane wysokościowe odczytywano w regularnej siatce kwadratów o boku 2 mm (100m). Pozyskano współrzędne dla 12 000 punktów (120 linii po 100 punktów). Dane odczytane z mapy były na bieżąco wpisywane do przygotowanych wcześniej formularzy sporządzonych w MS Excel. Z odczytanych danych wygenerowano dwa podstawowe modele wysokości. Pierwszy z nich, o rozdzielczości 100 m, powstał przez przypisanie środkom pikseli odczytanej wartości wysokości (bez żadnej interpolacji). Nazwano go roboczo asgrid100. Drugi model, o rozdzielczości 10m (asgrid10), wykonano przez przepróbkowanie modelu asgrid 100 przy pomocy metody dwulinowej (bilinear).



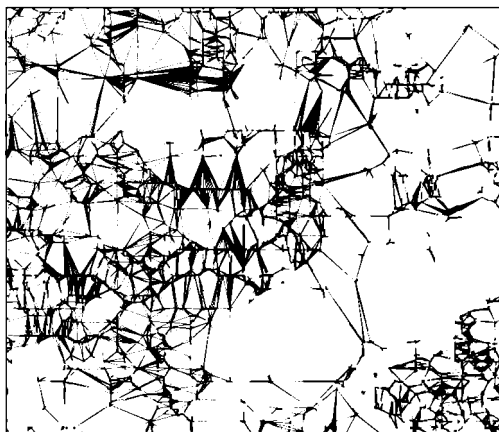
Ryc.1. Mapa terenu eksperymentalnego w skali 1: 50000 (Mapa topograficzna Polski w skali 1: 50000, arkusz Myślenice, M-34-76-D, 1997)

Zredukowana ilość punktów i ich rozmieszczenie (nieregularne) zdecydowały o skorzystaniu z metody TIN do utworzenia numerycznych modeli terenu.

Matematyczne podstawy konieczne do utworzenia TIN (np. algorytmy triangulacyjne) znane już na początku XX wieku, zostały rozwinięte w latach siedemdziesiątych przez prof. Peucker'a (Żyszkowska, Kładoczny 1994). Powszechne zastosowania znalazły dopiero w latach osiemdziesiątych zeszłego stulecia. Zastosowanie TIN umożliwia budowę modelu bezpośrednio ze zbioru nieregularnie rozmieszczonych punktów. Pozwala to na dostosowanie ilości punktów wysokościowych do stopnia deniwelacji terenu. W miejscach charakterystycznych dla danego obszaru (na kulminacjach, w zagłębieniach czy na grzbietach), gęstość

punktów pomiarowych powinna być większa, niż na obszarach płaskich (ryc.2.). Dzięki temu TIN skonstruowany ze stu punktów pomiarowych jest porównywalny z modelem rastrowym, utworzonym na podstawie kilkuset współrzędnych (Weibel, Heller 1991). Zastosowanie TIN pozwala na osiągnięcie dobrych wyników na obszarach o rzeźbie fluwialno – denudacyjnej (Weibel, Heller 1991) z wyraźnie zaznaczonymi liniami krawędziowymi (np. dolinki wciosowe w Beskidach).

Punkty modelu TIN połączone odcinkami tworzą sieć przylegających do siebie trójkątów. Właściwości każdego z trójkątów, czyli jego nachylenie, ekspozycja i powierzchnia określają współrzędne jego wierzchołków. Zastosowanie trójkątów zapewnia ciągłość powierzchni.



Ryc. 2. Przykładowy model TIN

Metody wyboru punktów do TIN

Punkty do TIN mogą być zebrane bezpośrednio w czasie badań terenowych wykonywanych np. z użyciem technologii GPS. Najczęściej jednak wartości wysokości pochodzą z wykonanych wcześniej modeli rastrowych lub zdigitalizowanych map poziomicowych. Wobec nadmiernej ilości danych zachodzi konieczność wyboru punktów. Przedstawione poniżej trzy metody wyboru punktów z DEM: **Fowlera i Little'a**, **VIP** i **drop heuristic** oparte są na algorytmach „poszukujących” charakterystycznych form terenowych (GIS Core Curriculum 1999).

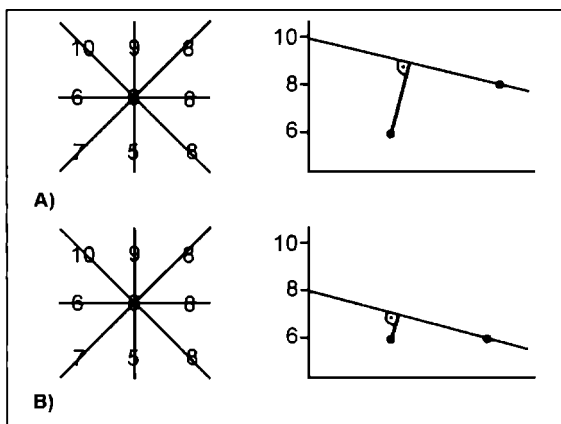
W przypadku algorytmu Fowlera i Little'a do obliczeń brane są wysokości z okna o wymiarach 3 na 3 punkty siatki regularnej, tworzące małą macierz składającą się z 9 elementów. Na początku sprawdzana jest wysokość ośmiu punktów sąsiadujących z elementem centralnym. Jeżeli wartość sąsiada jest wyższa, to stawiany jest znak (+), jeżeli niższa, to (-). Gdy wszystkie 8 punktów dookoła centralnego ma znak (+), oznacza to potencjalne zagłębienie terenu (pit), natomiast jeśli otoczony jest przez same (-), tworzy lokalne wzniesienie (peak). Jeżeli występuje sytuacja jak na Ryc. 3., to środek wycinka leży na przełęczy.

+	+	-	+	+	-
-	-		lub	-	-
-	+	+	+	+	+

Ryc.3. Przełącz wg. algorytmu Fowler'a - Little'a
(GIS Core Curriculum 1999)

Algorytm VIP (Very Important Points, Bardzo Ważne Punkty) stosowany między innymi w pakiecie ArcInfo znacznie różni się od poprzednio opisanej metody wyboru punktów do TIN. W przypadku VIP wykorzystywane jest również okno o wymiarach 3 na 3, z którego dokonywany jest lokalny wybór punktów (Ryc.4.). Procedura rozpoczyna się od połączenia liniami 4 par punktów znajdujących się po przeciwnych stronach wybranego okna. Następnie określana jest średnia wartość wysokości w miejscu przecięcia prostych.

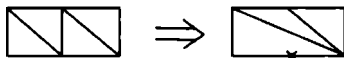
Kolejnym krokiem jest wykreślenie prostej prostopadłej łączącej ten punkt z punktem środkowym okna. Długość tego odcinka, będąca jednocześnie pochodną zmiany nachylenia stoku, stanowi miarę wagi punktu w obrębie całego zbioru tworzącego model. Następnie punkty ustawiane są od najmniej ważnego (najkrótszy odcinek) do najważniejszego (najdłuższy odcinek). Do triangulacji modelu wybierana jest określona liczba punktów lub punkty powyżej ustalonej dolnej granicy ważności. Metoda VIP prowadzi do ograniczenia rozmiarów modelu wyjściowego. Według autorów podręcznika do programu ArcInfo (1997), TIN utworzony z 6 procent punktów zajmuje tyle samo miejsca, co źródłowy DEM. Algorytm wykorzystuje punkty sąsiadujące, dlatego bardziej nadaje się dla obszarów o mniejszym zróżnicowaniu.



Ryc.4. Zasada działania algorytmu VIP (ArcInfo Manual 1997)

Podobną do VIP metodą optymalizacji jest algorytm **drop heuristic**. Z wybranej liczby punktów tworzy TIN najlepiej odwzorowujący powierzchnię Ziemi.. Algorytm rozpoczyna działanie od modelu TIN utworzonego ze wszystkich punktów źródłowego modelu. Każdy punkt z wybranego wycinka modelu jest chwilowo

usuwany, tak że zmienia się struktura otaczających go trójkątów. W nowo powstałym trójkącie mierzona jest różnica wysokości pomiędzy usuniętym punktem, a wysokością odpowiadającego mu miejsca na powierzchni trójkąta. Nowe punkty powstają w miejscach o najmniejszych różnicach (ryc. 5.). Metoda ta daje lepsze rezultaty, jeżeli „usuwane” punkty pochodzą z innych źródeł, niż analizowany DEM (np. ze zdjęć lotniczych lub pomiarów naziemnych).



Ryc. 5. Punkt usunięty z rysunku TIN w metodzie „drop – heuristic” (ArcInfo Manual 1997)

Na potrzeby niniejszego eksperymentu wykorzystano tylko jedną z opisanych powyżej metod wyboru punktów – metodę **VIP** zaimplementowaną w pakiecie ArcInfo. Porównano ją z metodą losowania zadanej ilości punktów z posiadanego zbioru danych wysokościowych (**Los**).

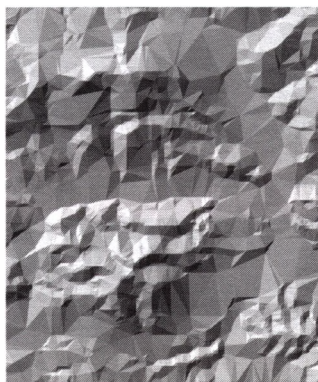
Wyboru punktów wysokościowych dokonano dwoma metodami. Jedną z nich, to opisywana wcześniej metoda Bardzo Ważnych Punktów (**VIP**), w drugiej zaś pobierano punkty w sposób losowy (**Los**). Za 100% przyjęto wartości zgodne z modelem **asgrid10** (1000*1200). Pobrano odpowiednio 50, 25, 10, 5 i 1% (dla wyboru losowego także 0,1%) punktów modelu źródłowego. W ten sposób otrzymano zbiory: 600 000, 300 000, 100 000, 60 000 i 12 000 (1200) punktów. Potraktowano je jako dane wejściowe do utworzenia nowych modeli. Zastosowano TIN i poprzez interpolację liniową w trójkątach otrzymano raster modeli 50, 25, 10 itd. Sprawdzono je, jak poprzednio, przez ocenę wizualną (rysunek cieniowany), histogramy wysokości, długość wybranych poziomic, oraz objętość ogólną. Uwzględniono również modele odniesienia (**asgrid100** i **asgrid10**)

Redukcji danych metodą Bardzo Ważnych Punktów (**VIP**) dokonano w pakiecie ArcInfo. Wymagało to podania nazwy źródłowego modelu (**asgrid10**), procentowej liczby wybieranych punktów i nazwy pliku wynikowego. Procedura wyboru może trwać od kilku do kilkunastu minut w zależności od ilości punktów i szybkości komputera. Losowego wyboru punktów dokonano przy pomocy funkcji **RANDOM** w programie **IDRISI**.

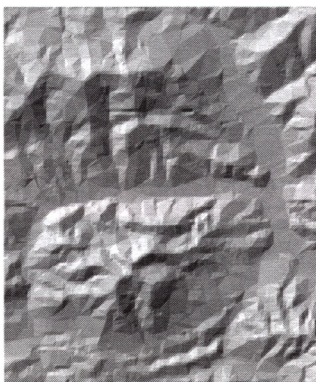
Ze względu na wielokrotną konwersję z formatu rastrowego do wektorowego ilość wybieranych punktów została nieznacznie zaniżona (przy wektoryzacji - stykające się dwa piksele traktowane były jako jeden). Ilość błędów była wprost proporcjonalna do ilości punktów. Wektorowe zbiory punktów eksportowano do ArcInfo, gdzie utworzono z nich modele TIN i poddano dalszej obróbce. Modele o zredukowanej ilości danych porównano różnymi metodami. Sporządzono cieniowane obrazy poszczególnych modeli. Narysowano histogramy nachyleń i wykresy długości wybranych poziomic. Obliczono objętości ogólne modeli oraz powierzchnie hipotetycznego zbiornika w dolinie Raby (powierzchnia terenu położonego poniżej rzędnej 350 m.n.p.m.).

W ocenie wizualnej nie widać pogorszenia obrazu nawet przy dużej redukcji danych, zarówno w modelach, gdzie zastosowano metodę **VIP** i wybór losowy. Dopiero przy wykorzystywaniu 5 i mniej procent danych (ryc. 6, 7, 8.), można zauważyć elementy podstawowe konstrukcji modelu (trójkąty), zwłaszcza w modelach z Bardzo Ważnymi

Punktami (ryc. 6 A, B.)⁶. Zadawalające jest odwzorowanie głównych grzbietów, ale przy zadanej ilości punktów odbywa się to kosztem pozostałych obszarów. Można więc uznać, że modele o takim samym stopniu redukcji dzięki losowemu, a więc równomiernemu pobieraniu próbek, lepiej odwzorowują teren. Decyzja zależy od twórcy modelu. Czy bardziej zależy mu na uwzględnieniu szczegółów, czy też na równomiernym, w miarę wiernym odwzorowaniu całej powierzchni. Jak widać, można uzyskać zadawalające cieniowane modele wysokości, nawet przy odpowiednio zredukowanej ilości danych.



A) VIP 1%



B) VIP 2%



C) VIP 5%



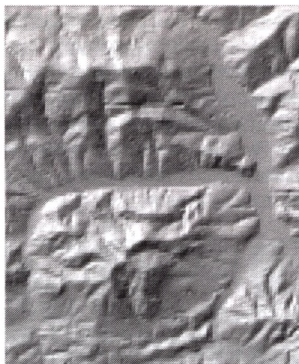
D) VIP 10%

Ryc. 6. Cieniowane modele o liczbie punktów źródłowych zredukowanych metodą VIP.

⁶ Do podobnych wniosków doszedł Chou (1999), twierdząc, że przy pomocy metody zblżonej do VIP można dokonać redukcji punktów do poziomu 6 – 8 %



E) VIP 25%

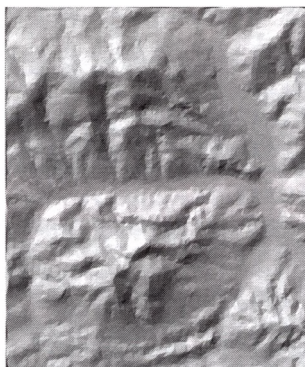


F) VIP 50%

Ryc. 7. Cieniowane modele o liczbie punktów źródłowych zredukowanych metodą VIP.



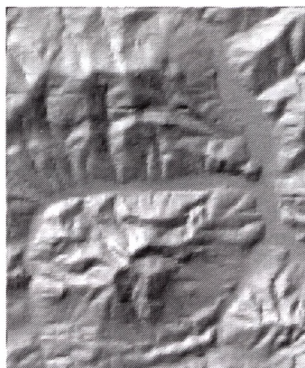
A) Los 0,1%



B) Los 1%



C) Los 2%



D) Los 5%

Ryc. 8. Cieniowane modele o liczbie punktów źródłowych zredukowanej metodą losową.



E) Los 10%



F) Los 25%



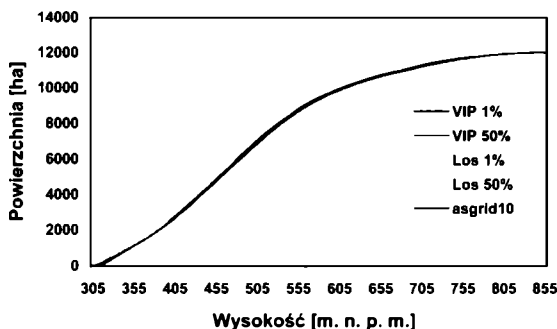
G) Los 50%



H) ASGRID 10

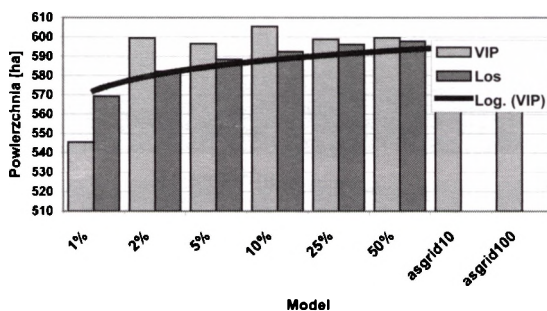
Ryc. 9. Cieniowane modele o liczbie punktów źródłowych zredukowanej metodą losową.

Porównywanie histogramów wysokości nie wnosi nic nowego, gdyż z samej idei wybierania danych wynika, że każda klasa wysokości jest tak samo reprezentowana (ryc.10.)

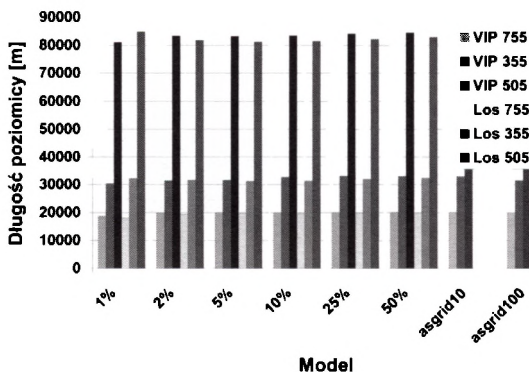


Ryc. 10. Skumulowane histogramy wysokości modeli o zredukowanej ilości punktów

Nachylenia terenu oceniano przez zaprezentowanie dominujących na badanym obszarze nachyleń 10 – 20 %. Na wykresie (ryc. 11.) można zauważyć, że różnice pomiędzy słupkami obrazów losowych mają charakter zdeterminowany (jak krzywa trendu) inaczej niż dla modeli VIP. We wszystkich prawie przypadkach modele VIP, w danej klasie, mają większą powierzchnię. Jedynie dla wariantu 1% większą powierzchnię ma model losowy. Powierzchnia z 50% i 1% danych wynosi ok. 300 ha dla wyboru losowego, co daje błąd względny rzędu 5%

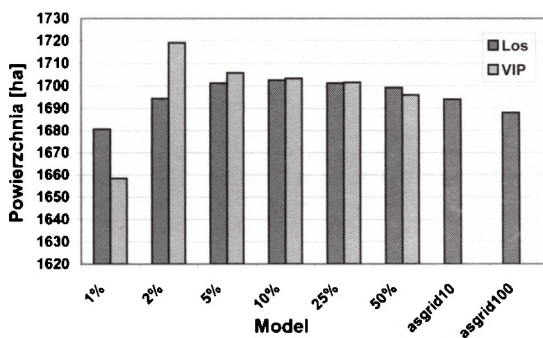


Ryc. 11. Powierzchnia stoków o nachyleniach 10 – 20° w modelach o zredukowanej ilości punktów



Ryc. 12. Długość wybranych poziomicy w modelach o zredukowanej ilości punktów.

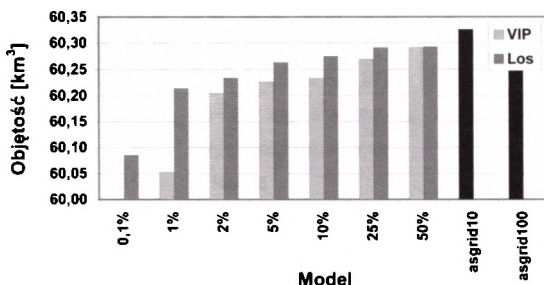
Przy porównywaniu wybranych poziomicy można zauważyć, że w modelach: VIP i losowym, mają prawie takie same długości (ryc. 12.). W przypadku poziomicy 755 różnice są zupełnie nie zauważalne (maksymalnie 600 m przy ponad 18000 m długości całej poziomicy). Tak duży stopień zgodności różnych długości poziomicy może uprawniać do podjęcia wniosku, iż ograniczenie ilości danych w minimalnym stopniu oddziałuje na dokładność rysunku poziomicy, sporządzonego z modelu wysokości. W efekcie z dużo mniejszej ilości danych można sporządzić równie dokładną mapę warstwicową.



Ryc. 13. Powierzchnia hipotetycznego zbiornika w dolinie Raby w modelach o zredukowanej ilości punktów.

Wykres na ryc. 13 przedstawia wpływ stopnia redukcji danych na powierzchnię hipotetycznych zbiorników w dolinie Raby. Nie można wyciągnąć jednoznacznych wniosków odnośnie wartości powierzchni. Stwierdzono jedynie pełną zgodność wysokości słupków dla 10 i 25% mimo różnego sposobu wybierania próbek.

Przy porównywaniu objętości modeli o zredukowanej ilości punktów można zauważyć, że objętość wzrasta wraz z liczbą punktów wykorzystanych do tworzenia modelu (tzn. dla 1 i 2 % jest mniejsza niż dla 25 i 50%, ryc. 14.). Ponadto stwierdzono, że modele losowe mają większą objętość. Szczególnie jest to widoczne przy porównywaniu modeli 1 i 2 procentowych podobnie zresztą, jak przy ocenie wizualnej (przy modelu 2% trójkąty źródłowe były już niewidoczne). Dla wariantu 50% objętość modeli losowych i VIP jest praktycznie taka sama.



Ryc. 14. Objętość modeli o zredukowanej ilości punktów.

Redukcja danych okazała się możliwa bez znacznego ograniczenia obrazu końcowego. Jednak ograniczenie danych można stosować tylko wtedy, gdy posiadamy zdolność interpretacji pojawiających się niezgodności modeli i metod weryfikacji. Potwierdzono również, że redukcja punktów wysokościowych z wykorzystaniem metody wyboru Bardzo Ważnych Punktów jest „selektywna”, zaś metoda losowa jest lepsza do zastosowań ogólnych.

LITERATURA:

- ArcInfo Manual, 1997, Environmental Science Research Institute, Redlands, USA
- Balon J., German K., Kozak J., Malara H., Widacki W., Ziaja W. 1995, *Charakterystyka regionów*, w: Karpaty Polskie, J. Warszzyńska (red.), Kraków, Uniwersytet Jagielloński, s. 119-129
- Chou Y., Liu P., Dezzani R. J 1999, *Terrain complexity and reduction of topographic data*, Journal of Geographical Systems vol.1, s. 179-198
- Kładoczny D., Żyszkowska W. 1995, *Struktura numerycznych modeli terenu, a ich obraz poziomicowy*, w: Polski Przegląd Kartograficzny t. 27, nr 4, s. 70 - 81
- Mapa topograficzna Polski 1:50000, 1997, arkusz Myślenice M-34-76-D, Główny Geodeta Kraju, Warszawa
- NCGIA GIS core curriculum, 1999.
- Weibel R., Heller M. 1991, *Digital Terrain Modelling*, w: Goodchild M. F., Principles Of Geographical Information Systems, s. 269 - 297